

УДК 621.73.01

ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКЕ ПЛАТИНОВОГО СТЕКЛОПЛАВИЛЬНОГО СОСУДА

Юрий Николаевич Логинов

Алексей Александрович Фомин

ФГАОУ ВПО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»

Контактная информация: j.n.loginov@urfu.ru, exile666@inbox.ru

Рассмотрен метод производства стеклоплавильных сосудов из платины и ее сплавов, предназначенных для получения стекловолокна, который предусматривает поэтапную многорядную штамповку дна сосуда с получением калиброванных отверстий заданной формы. Методом конечных элементов с помощью различных программ, поставлены и решены задачи первого перехода штамповки. Сделан вывод о неравномерном распределении деформаций, что может являться причиной неравномерного распределения эксплуатационных свойств.

Ключевые слова: штамповка, метод конечных элементов, платина, стеклоплавильный агрегат.

STRAINS IN PLATINUM GLASS-MELTING VESSEL STAMPING

Yuri Loginov

Alexey Fomin

FSAEI HPE «UFU named after the first President of Russia B.N. Yeltsin»

Contacts: j.n.loginov@urfu.ru, exile666@inbox.ru

A method for the production of glass melting vessel made of platinum and its alloys for producing glass fibers is considered. The method provides phase of multilayered stamping bottom of the vessel to obtain the calibrated holes of a given shape. Boundary tasks of the first stage stamping developed and solved by the finite element method with various programs. It is concluded that the uneven distribution of strains that can cause uneven distribution of operational properties.

Keywords: Stamping, finite element method, platinum, the glass-melting unit.

Использование платины в промышленности обусловлено её уникальными свойствами: сопротивлению высокотемпературной коррозии и окислению в контакте с оксидными материалами при высоких температурах. Одно из важных направлений в промышленности благородных металлов является применение сплавов платины в производстве аппаратов для изготовления стеклянного и базальтового волокна. Стеклоплавильный аппарат представляет собой емкость для размещения расплава стекла или базальта, выполненную из тугоплавкого листового материала - платинородиевого сплава. В нижней части аппарата расположено днище, а в нем выполнены отверстия со сложным профилем образующей (рис. 1).

Цельноштампованные фильерные днища обладают рядом преимуществ, в том числе создается возможность более плотной упаковки фильера на фильерном поле. Вместе с тем, плотная упаковка фильера создает ряд технологических проблем, одна из которых - поддержание симметричного исполнения каждой фильеры с обеспечением необходимой размерной точности. Необходимая форма отверстия обеспечивается при этом направленным пластическим

течением металла. Частично технология формования днищ стеклоплавильных сосудов описана в статье [1].

Формование выступов реализуется путем обжима заготовки плитой в штампе с отверстиями, расположение которых соответствует расположению фильера на фильерном дне. Заготовка представляет собой пластину из платинородиевого сплава, она получена прокаткой и предварительно отожжена. Деформация заготовки осуществляется плитой. Основание плиты имеет плоскую часть и скругление. Плоская площадка является деформирующей, скругление позволяет предотвратить срез металла на боковой поверхности. Штамп выполнен из инструментальной стали, размеры и конфигурация его различны при изготовлении различных стеклоплавильных аппаратов, но в общем случае он имеет вид плоской пластины с формообразующими отверстиями. Металл заготовки под действием плиты подвергается утонению, и часть его вдавливается в отверстия штампа. Поскольку заготовкой для технологических операций служит лист, то по классификации кузнечно-штамповочного производства процесс относится к холодной листовой штамповке с объемным течением металла.

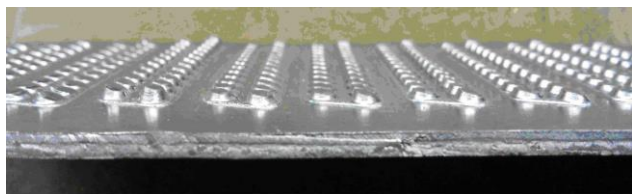


Рис. 1. Профиль реальной платиновой пластины

Схема формоизменения указанного вида имеет аналоги в виде краевых задач вдавливания слоя пластичного материала в отверстие или деформации заготовки в щелевом штампе [2, 3]. Сведения об особенностях поведения пластины в процессах обработки давлением имеют ограниченный характер [4]. Применительно к деформации пластины и ее сплавов методом листовой штамповки решались задачи глубокой вытяжки при формовании жаропрочных тиглей [5, 6], а также определялись граничные условия деформации в других процессах обработки давлением [7]. Определены свойства пластины в холодном состоянии при переборе температур отжига и степеней деформации [8].

В указанной схеме деформации степень заполнения отверстия определяется усилием прессы и конфигурацией инструмента. После каждого хода плиты штамп с заготовкой продвигается относительно деформирующей плиты, занимая положение под плитой для заполнения нового ряда отверстий (по рисунку вправо). Пластическое течение металла влево ограничено упором, поэтому перемещение металла в этом направлении равно нулю. Процесс деформации контролируется компьютером и осуществляется автоматически. Так пошагово идет обработка всей полосы, весь процесс длится до окончания обработки металлической полосы. Полученный полуфабрикат передается на вторую операцию, которая в этой работе не рассматривается.

На первом этапе расчетов анализ напряженного и деформированного состояния будет произведен с помощью программного комплекса Abaqus, предназначенного для решения задач в области конечно-элементных прочностных расчетов. Семейство продуктов ABAQUS разрабатывается и поддерживается компанией Abaqus Inc. Компания поддерживает распространение университетской версии программного продукта с ограничением до 1000 штук количества конечных элементов.

Смоделировано течение металла вблизи одного отверстия матрицы. Первым этапом моделирования являлось создание деталей. В данном случае их три: штамп с отверстием (матрица), заготовка и плита. Для создания каждой детали заданы следующие параметры: моделируемое пространство – осесимметричное, тип материала деталей –

деформируемый, отображение деталей – плоское. Контур деталей задается координатным способом.

Для идентификации свойств деформируемого материала использованы данные работы [9]. Свойства металлов приняты изотропными.

На созданную модель наложены следующие граничные условия. Первое условие – жесткое закрепление штампа по нижней границе его контура, так как штамп неподвижен в процессе обжима заготовки. Следующее условие задано для верхней границы плиты, она перемещается вертикально вниз. Граничные условия для инструмента заданы не по всему контуру, что позволяет в ходе решения задачи определить напряженно-деформированное состояние не только заготовки, но и инструмента. На правой границе очага реализуется свободное течение металла, действующее внешнее давление равно нулю. На границе контакта заготовки с матрицей и плитой реализуется скольжение. Условия трения описываются законом Кулона. Коэффициент трения по Кулону принят равным 0,1.

Следующим этапом в моделировании являлось создание сетки и ассоциации свойств конечных элементов с заданными свойствами. Для плиты и матрицы аппроксимирующий размер одного элемента принят 0,5 мм, тип элемента – четырехугольный. Для заготовки с целью повышения точности решения задачи принят размер элемента 0,2 мм, тип ячейки – треугольный. Таким образом, деформирующая плита разбита на 100 элементов, матрица на 96 элементов, заготовка из пластины на 800 элементов. В сумме 996 элементов, что удовлетворяет ограничению университетской версии.

После завершения формирования исходных условий выполнены расчеты с получением схем распределения расчетных параметров по очагу деформации.

На рис. 2, а представлено распределение значений эквивалентной степени деформации по очагу деформации. Полученные данные позволяют проанализировать деформированное состояние металла.

Отображенная картина распределения эквивалентной степени деформации позволяет, в частности, оценить уровень нагартовки металла по объему. Видно, что наибольшей деформации ($\epsilon=0,698$) подвержен объем металла вблизи кромок матрицы. Это должно провоцировать износ, в первую очередь, именно этой поверхности инструмента, что и наблюдается на практике. Для нижней свободной поверхности характерен процесс бочкообразования. При этом заполнение конуса ручья штампа оказывается затрудненным: периферийные слои сильно отстают от центральных.

На рис. 2, б представлено распределение напряжения по Мизесу. Видно, что существуют

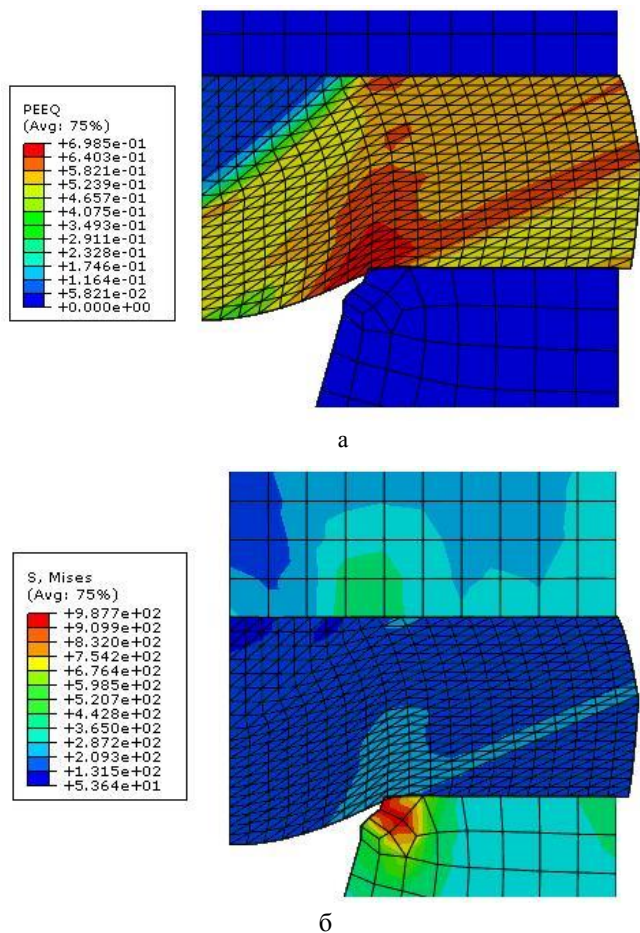


Рис. 2. Распределение значений эквивалентной степени деформации ϵ (а) и эквивалентных напряжений по Мизесу (б) (решение ABAQUS)

зоны повышенных напряжений как в заготовке, так и в инструменте. В плите повышенный уровень напряжений наблюдается в области над кромкой штампа. В штампе наибольшие напряжения (до 1000 МПа) наблюдаются в зоне перехода от плоской поверхности к отверстию. Это соответствует производственной практике обработки платиновых сплавов: здесь наибольший износ инструмента наблюдается именно в этой области. Таким образом, полученные данные позволяют сделать практические выводы о причинах повышенного износа инструмента.

Но в предыдущей постановке задачи не учтен факт отсутствия симметрии при нагружении материала. Действительно, как описано выше, с одного из торцов деформируемой пластины установлен упор, ограничивающий перемещение материала в горизонтальном направлении. По существу, обычная краевая задача затекания металла в щелевой штамп превращается в задачу с подпором. Известно, что наличие бокового подпора в способах кузнечной осадки увеличивает уровень средних (гидростатических) напряжений [10, 11], что, в свою очередь, в общем случае повышает пластичность

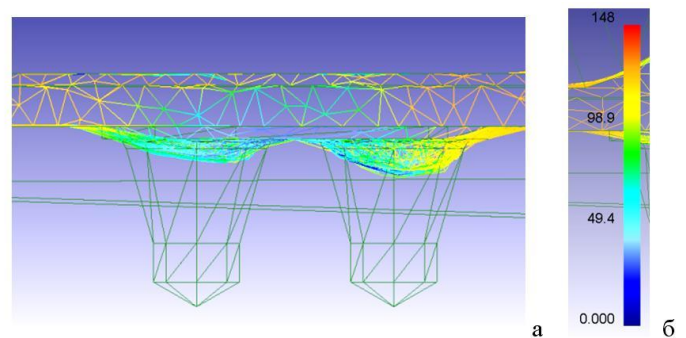


Рис. 3. Профили заполнения двух рядом расположенных ручьев штампа и значения (цветные уровни) эквивалентных напряжений (а) с цветовым ключом (б)

металла [12], а в данном конкретном случае, кроме того, позволяет добиться более полного заполнения ручьев штампа. Вместе с тем, возникает картина несимметричного действия напряжений и подпора - они действуют только с одной стороны, поэтому заполнение штампа должно оказаться также несимметричным. Для проверки такого положения дополнительно к предыдущему решению в комплексе ABAQUS осуществлена постановка задачи в программном комплексе DEFORM. Необходимость перехода на другой способ решения обусловлена малым количеством конечных элементов (до 1000), предусмотренных в университетской версии ABAQUS.

В постановке DEFORM заданы те же свойства деформируемого материала, а материал инструмента принят абсолютно жестким, недеформируемым. В штампе предусмотрено два отверстия для заполнения металлом, что позволяет оценить взаимное влияние рядом расположенных ручьев. Применено граничное условие - равенство нулю горизонтального перемещения металла в левом направлении.

Как видно из решения задачи (рис. 3), для такого случая деформации характерна несимметричная картина заполнения ручья: наличие пологой выпуклости слева и более крутой выпуклости справа. Такая несимметричность создает дополнительные трудности в последующих операциях обработки изделия, поэтому нежелательна. Кроме того, выявлена неоднородность распределения эквивалентных напряжений как по каждому из заполняемых объемов, так и между двумя ручьями. Меньшие эквивалентные напряжения наблюдаются в левом по рисунку ручье штампа и большие - в правом. Это приводит, в частности к тому, что правый ручей больше заполнен металлом.

Выполнено сравнение полученного решения с практически достигаемым результатом. На рис. 1 показан профиль платиновой пластины после данной операции штамповки. Видно, что форма выступов на пластине различна, виден также несимметричный вид выступов. Таким образом, установлено качественное соответствие между результатами расчета и реальной картиной пластической деформации металла.

Выводы

В ходе решения задачи формования днища платинового стеклоплавильного аппарата выявлены неоднородности заполнения ручьев штампа и описаны причины их возникновения. К этим причинам отнесены несимметричность граничных условий перемещения металла и влияние рядом расположенных рядов.

Библиографический список

1. Логинов, Ю.Н. Кинематические условия выдавливания пластического слоя в многорядном щелевом штампе / Ю.Н. Логинов, А.А. Фомин // Кузнечно-штамповочное производство. - 2013. - №4.-С. 14- 17.
2. Логинов, Ю.Н. Силовые условия осадки заготовки в щелевом штампе / Ю.Н. Логинов // Известия вузов. Черная металлургия. - 1991. - №10.-С. 25-28.
3. Cetinkaya, K. A study of the microscopic deformation behavior of an phosphor bronze plate during arbitrary holes piercing process / K. Cetinkaya // Materials & Design. - 2007. - V 28 - Iss. 1. - P. 294-300.
4. Васильева, Е.В. Платина. ее сплавы и композиционные материалы / Е.В. Васильева, Р.М. Волкова, М.И. Захарова и др. - М.: Металлургия. 1980. – 296 с.
5. Каменецкий, Б.И. Исследование деформационных характеристик и структуры сплава ПЛН-4,5 при изготовлении полых заготовок методом глубокой вытяжки / Б.И. Каменецкий, Л.Г. Гроховская, Ю.Н. Логинов, Г.И. Студенок // Цветные металлы. - 2007.-№8. - С. 51-53.
6. Логинов, Ю. Н. Моделирование деформированного состояния круглой пластины при вытяжке / Ю.Н. Логинов, Б.И. Каменецкий, Г.И. Студенок // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. - 2006. - № 3. - С. 26-28.
7. Логинов, Ю.Н. Изучение трения при листовой прокатке платины и ее сплавов / Ю.Н. Логинов, Г.И. Студенок // Производство проката. - 2010. - № 7. - С. 14-16.
8. Loginov, Yu.N. Annealing Characteristics and strain resistance of 99.93 wt. % Platinum / Yu.N. Loginov, A.V. Ermakov. L.G. Grohovskaya, G.L. Studenok // Platinum metals Rev. – 2007 . – V .51 (4). – P. 178 – 184.
9. Логинов, Ю.Н. Условия разупрочнения и сопротивление деформации платины / Ю.Н. Логинов, А.В. Ермаков, Л.Г. Гроховская, Г.И Студенок // Цветные металлы. - 2006. - №6. – С. 85-88.
10. Алиев, И.С. Моделирование процессов обработки давлением с низким коэффициентом подпора с учетом условий трения / И.С. Алиев, Я.Г. Жбанков // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2011.-№ 10. – С. 16-19.
11. Дегтярев, И.С. Осадка пористой полосы в условиях предельного трения / И.С. Дегтярев, В.Л. Колмогоров, Ю.Н. Логинов // Известия вузов. Машиностроение. – 1975. - № 6 . - С. 126 – 130 .
12. Каменецкий, Б.И. Влияние условий бокового подпора на пластичность магния при холодной осадке / Б.И. Каменецкий, Ю.Н. Логинов, Н.А. Кругликов // Технология легких сплавов. – 2012. - № 1. – С. 86 – 92 .